



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ZOOTECNIA
FILIAL CUTERVO**



“Sustitución del maíz amarillo por maíz chochoca en el concentrado del cuy. Fase de crecimiento – acabado”

TESIS

Presentada a la Facultad de Ingeniería Zootecnia

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Por:

Bachiller I.Z. RAÚL MENDOZA DELGADO

CUTERVO – PERU

2017

**SUSTITUCIÓN DEL MAÍZ AMARILLO POR MAÍZ CHOCHOCA EN EL CONCENTRADO DEL CUY, FASE
DE CRECIMIENTO - ACABADO**

TESIS

Para optar el título profesional de

INGENIERO ZOOTECNISTA

Por:

Bach. I.Z. RAÚL MENDOZA DELGADO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

I.Z. SEGUNDO F. BERNAL RUBIO
Presidente

I.Z., Dr. NAPOLEÓN CORRALES RODRIGUEZ
Secretario

Vocal
I.Z. BENITO BAUTISTA ESPINOZA

I.Z., M. Sc. ENRIQUE G. LOZANO ALVA
Patrocinador

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Descripción y características del maíz.....	3
2.1.1. Estructura biológica del maíz.....	7
2.1.2. Propiedades físico-químicas en el almidón de maíz.....	8
2.2. Referencias de la chochoca de maíz o maíz chochoca.....	10
2.3. Efectos del tratamiento térmico sobre el valor nutritivo del almidón.....	12
2.3.1. El almidón.....	12
2.3.2. Digestión del almidón.....	23
2.3.3. Modificaciones térmicas del almidón.....	27
2.4. Alimentación del cuy e índices productivos.....	28
III. MATERIAL Y MÉTODOS.....	32
3.1. Lugar del estudio y duración experimental	32
3.2. Material experimental.....	32
3.2.1. Tratamientos experimentales.....	32
3.2.2. Material biológico del estudio.....	32
3.2.3. Materiales y equipos empleados.....	33
3.3. Metodología experimental.....	33
3.3.1. Variables experimentales.....	33
3.3.2. Inicio y conducción del experimento.....	33
3.3.3. Elaboración del insumo problema: Chochoca.....	34
3.3.4. Formulación de raciones.....	34
3.3.5. Variables controladas y evaluadas.....	35
3.3.6. Diseño experimental y análisis estadístico.....	
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. Consumo de alimentos.....	37
4.2. Ganancias de peso vivo.....	40
4.3. Eficiencia bio-económica.....	43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
VI. RESUMEN.....	47
VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	48
VIII. APÉNDICE.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N°	Pág.
1. Concentrado para crecimiento-acabado en cuyes, %.....	34
2. Esquema del análisis de varianza.....	36
3. Consumo de concentrado en cuyes durante su crecimiento-acabado.....	37
4. Cambios en el peso vivo en cuyes, según tratamientos.....	40
5. Conversión alimenticia y mérito económico, según tratamientos.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N°	Pág.
1. Consumo de concentrado según tratamientos.....	38
2. Cambios en el peso vivo en cuyes, según tratamientos.....	41
3. Conversiones alimenticias, según tratamientos.....	44
4. Mérito económico, según tratamientos.....	45

CUADROS DEL APÉNDICE

1. Prueba de Homogeneidad de varianza para pesos iniciales en cuyes.....	59
2. Análisis de varianza para peso el incremento total de peso vivo en cuyes.....	60
3. Análisis de varianza para peso vivo final en cuyes.....	60

I. INTRODUCCIÓN

La explotación actual del cuy mejorado, independiente del sistema de crianza, ha basado y permanece aún, bajo un sistema de alimentación con una ración concentrada y donde el maíz amarillo, molido, con variaciones del nivel de presencia, siempre es la base y el ingrediente mayor. Siempre han existido razones para justificar su empleo y se ha venido pretendiendo sustituirlo por distintos ingredientes energéticos y varios de dichos estudios han logrado resultados exitosos. No se ha pretendido sustituir al *insumo clásico* por otro de su misma especie pero con diferentes características de tratamientos previos, como el caso de la *chochoca*. Este insumo, común en su uso en la alimentación del hombre andino, sería totalmente diferente al maíz amarillo por efecto del tratamiento previo que experimenta y que nutricionalmente determinaría diferencias en la eficiencia de su utilización.

Cutervo, provincia de cajamarquina, viene ampliando rápidamente la crianza comercial de cuyes con miras a satisfacer la gran demanda por parte de provincias vecinas como Jaén o su traslado a la ciudad de Chiclayo; así como por la apertura de restaurantes locales especializados en la preparación del cuy. Así mismo, por sus características de producción agropecuaria, cultiva áreas significativas de “maíz criollo” que es transformado empíricamente en chochoca para su comercialización en los mercados locales y también en otras localidades de la costa. Los agricultores, que a la vez son criadores de cuyes, verían como positivo la alternativa biológica y económica el uso de la chochoca en la alimentación de sus animales en circunstancias que el mercado para la venta de chochoca no sea atractiva.

Si bien el consumo de la chochoca, como alimento energético en el hombre, es apreciado, pero no en todos los sectores, goza de preferencia limitada y se admite sea un alimento importante en la dieta de la población de la sierra peruana. Sin embargo, en la alimentación animal, la

eficiencia de su incorporación se evalúa a través de parámetros precisos como la conversión alimenticia o respuesta bio-económica. La chochoca no ha sido evaluada como una posibilidad actual o remota de su empleo en la alimentación animal o, al menos, en forma experimental.....***Ello da pie para plantear... si la chochoca generará respuestas productivas o comportamiento del animal de una manera inusual positiva o negativamente.***

Como respuesta, sujeta a verificación, se plantea que la sustitución del maíz amarillo molido, por maíz chochoca en la alimentación del cuy va a mejorar la ganancia de peso, conversión alimenticia y mérito económico, durante su crecimiento – acabado. Se buscaron los siguientes objetivos:

- ✓ Evaluar el consumo, ganancia de peso, conversión alimenticia y mérito económico de cuyes alimentados con chochoca como sustituto de la harina de maíz amarillo, durante el crecimiento y engorde.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Descripción del maíz.

En el Perú, era muy apreciado por los Incas, es cultivado en zonas con climas templados de la sierra y en invierno en la costa, identificándose variedades amiláceas: mochero, alazán, chancayano, pardo, coruca, huayleño, ancashino, huancavelicano, blanco cuzco, pagaladroga, san jerónimo, arequipeño, sabanero, piricinco y variedades sintéticas y compuestas, de una gran variedad de colores y de algunos de ellos se extraen colorantes como es el caso del Maíz Morado (Callejo, 2002). Particularmente en la Selva Amazónica, se cultiva una especie criolla denominada maíz amiláceo (*Zea mays amylacea*) probablemente originaria de las zonas altas de la región andina y de México; ha alcanzado cierta importancia comercial e industrial destinada al autoconsumo de la población indígena y rural y en la preparación de chicha, maicillo, pushco, wawillo, bizcochuelos y pan.

Acerca del maíz se menciona que es el tercer cereal cultivado a escala mundial, después del trigo y arroz, siendo la principal cosecha en América, se consume desde hace 7000 años (Sluyter y Dominguez, 2006).

Reportes a escala mundial indican que el 70% de las proteínas es suministrado por los cereales en países pobres y el maíz es el tercer cereal usado para suplir estas carencias, y que, en las comunidades nativas de nuestra selva Amazónica, el maíz amiláceo, es la única fuente de proteína que es complementada con menestras y eventualmente carne de monte, lo que concuerda con el Mapa de pobreza de FONCODES (2006), que reporta una población malnutrida en el orden del 31% para la región de San Martín.

El rendimiento del maíz amiláceo varía de 1 – 2 Ton/Ha, crece en condiciones de secano, no utilizan ningún producto químico. Las épocas de siembra son los meses de Agosto – Setiembre y

Febrero – Marzo (Ruiz, 2007), se produce en pequeña escala, lo siembran las colonias y los lugareños, básicamente para el consumo local, los agricultores recogen la costumbre ancestral, utilizando para la elaboración de una bebida regional, la chicha. El maíz amiláceo, es considerado amiláceo por su tejido de reserva o almacenamiento, sus células contienen almidón (amiloplastos). El grano pertenece al tipo de maíz harinoso, el endospermo está compuesto casi exclusivamente de un almidón muy blando, que se raya fácilmente con la uña aún cuando el grano no esté maduro y pronto para cosechar.

Desde el punto de vista botánico (Ruiz, 2007), menciona la siguiente clasificación taxonómica del maíz amiláceo:

Orden	: Columniflora
Familia	: Poacea
Sub familia	: Panicoideae
Género	: Zea
Especie	: <i>Zea mays</i>
Sub especie	: <i>Zea mays amylacea</i>
Nombre vulgar	: Maíz suave, blando o Criollo.

Zea mays amylacea o maíz amiláceo, es un cereal suave, harinoso, cuyo endospermo del grano es básicamente de almidón blando. Tiene textura de las brácteas rugosa, con que varían entre morado y rojizo, la forma de las mazorcas son ligeramente cónicas y la disposición de las hileras son ligeramente curvas. La altura de la planta es de 2.27m (± 1.31), cuyo hábito de crecimiento es erecto, días de floración femenina 98 días, días de maduración es de 170 días, cuyas hojas normales son lanceoladas, 12 hojas por planta, presentando de 1 – 2 mazorcas por planta, forma de la mazorca ligeramente cónica, color de la mazorca morado intenso, color de tusa morado, longitud de mazorca 21.1 cm., diámetro de la mazorca 3.48 cm, peso de la mazorca

107.73gr, número de granos por mazorca es de 402. En cuanto a la cosecha la textura de las brácteas es rugosa, color predominante de las brácteas morado, longitud de las brácteas 32.7 cm, número de brácteas por mazorca es 7, longitud del pedúnculo de la mazorca es de 1.96cm, número de nudos del pedúnculo de la mazorca 4, forma predominante de la mazorca ligeramente cónica. En hileras ligeramente curvas, número de hileras 11, número de granos por hilera 36 (Ruiz, 2007). Los granos, son de color morado rojizo amarillento, de consistencia harinosa, longitud del grano 13mm, ancho del grano 11mm, espesor 5mm, porcentaje de desgrane 78%, rendimiento en campo del agricultor es de 2 tn/Ha.

El grano de maíz se compone de biopolímeros como el almidón, cuya ingestión permite aumentar el número de moléculas de glucosa que ingresan al ciclo de Krebs, siendo así una gran fuente de energía para el organismo (Laguna y Piña, 1979; Alfaro et al., 2004). Por su gran tamaño y complejidad, la molécula de almidón es difícil de digerir, por este motivo se utilizan procesos térmicos para modificar su estructura y facilitar su digestión, además, la inclusión de minerales como el calcio (Ca), presumiblemente, permiten que el proceso se realice a más bajas temperaturas, lo cual implica un menor gasto energético en la producción de alimentos con base a almidón (Rodríguez et al., 1996; FAO, s.f.).

En la última década el interés en el estudio de las propiedades físicas de alimentos sólidos, ha aumentado considerablemente, no solo por su importancia en el procesamiento de alimentos, sino también por el amplio interés científico en las transiciones estructurales y moleculares que ocurren en estos biopolímeros (Simatos y Karel, 1988).

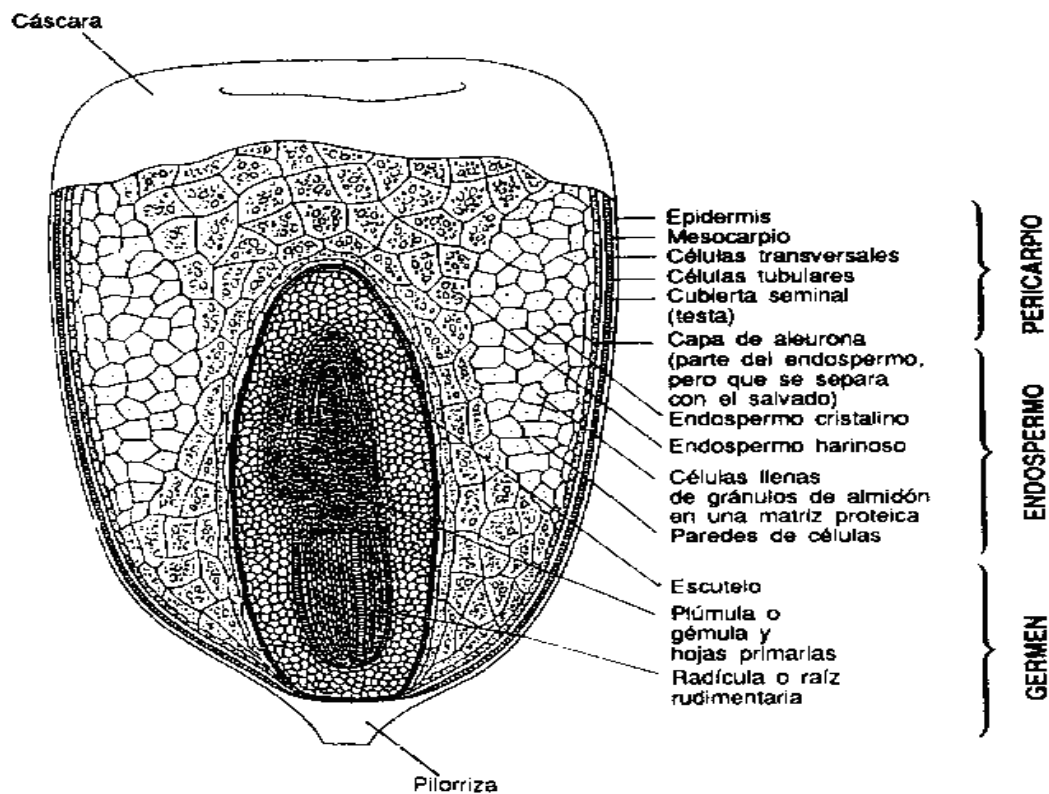
Los estudios de las modificaciones térmicas se han destacado en los últimos 30 años. Inicialmente estos se enfocaron en la transición vítrea del almidón, debido a que el conocimiento de este fenómeno permite controlar las condiciones de almacenamiento en frío de los productos basados en almidón. Los cambios a mayor temperatura como la gelatinización fueron estudiados

inicialmente a través de técnicas de difracción de rayos (DRX) y de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Las muestras tratadas térmicamente presentan un patrón de difracción de rayos X que corresponde a un material amorfo y el perfil DSC no muestra picos, esto indica que el fenómeno de gelatinización ya sucedió durante la fase de producción (Biliaderis y Page, 1986).

Actualmente hay una gran discusión en la forma como se realiza esta transición, inicialmente, se proponen 6 etapas que agrupan los cambios físicos del almidón durante la gelatinización (Olkku y Rha, 1978; Zobel, 1988), pero estudios recientes dan evidencia que este evento sucede en cuatro etapas las cuales corresponden a un incremento del agua ligada en el gránulo de almidón, el aumento del tamaño del gránulo de almidón, la lixiviación de la amilosa debida al aumento de la temperatura, y finalmente existe una disrupción de las cadenas de amilopectina (Peng et al., 2007).

2.1.1. Estructura biológica del grano de maíz.

El grano de maíz se divide en tres partes: pericarpio, endospermo y germen. El *pericarpio* es la parte más exterior del grano y funciona como una piel que protege al grano del medio. El *endospermo*, es la mayor parte del grano y posee células llenas de gránulos de almidón envueltas una matriz de proteína. El *germen* es la parte interna y posee el eje embrionario y la raíz primaria. (Cámara Argentina, 1997).



Los principales componentes del grano entero son *proteínas, almidón, lípidos; y en menor proporción, fibra, azúcares, minerales y vitaminas*. Más del 70% del grano de maíz son *carbohidratos*, los cuales están presentes como almidón, azúcar y fibra. El *almidón* está principalmente localizado en el endospermo y el azúcar en el embrión. Las vitaminas están localizadas en el embrión y en la capa mas externa del endospermo, incluyendo la capa de aleurona situada inmediatamente debajo del pericarpio. El resto del endospermo es más pobre en vitaminas que otras porciones del grano. El *almidón* es fabricado por las plantas verdes durante la fotosíntesis. Forma parte de las paredes celulares de las plantas y de las fibras de las plantas rígidas. A su vez sirve de almacén de energía en las plantas, liberando energía durante el proceso de oxidación en dióxido de carbono y agua. Es difícilmente soluble en agua fría y en alcohol, pero en agua hirviendo provoca una suspensión coloidal que al enfriarse se vuelve gelatinosa. El agua caliente actúa lentamente sobre el almidón originando moléculas más pequeñas llamadas

dextrinas. Las *dextrinas*, como el *almidón*, reaccionan con el agua formando moléculas aún más simples, para finalmente obtener maltosa, $C_{12}H_{22}O_{11}$, un disacárido, y glucosa, $C_6H_{12}O_6$, un monosacárido (Gómez, 2003).

2.1.2. Propiedades físico-químicas en el almidón de maíz.

El gránulo de almidón es insoluble en agua, tiene una alta densidad de empaquetamiento, y es hidrolizado por enzimas catabólicas. Los gránulos de almidón pueden presentarse en todas las formas y tamaños, esféricos, elípticos, poligonales o tubulares irregulares. Sus dimensiones varían entre 0.1 hasta 200 μm , dependiendo de la fuente botánica. Las diferencias en la morfología externa del gránulo, proveen una caracterización ambigua de la fuente de almidón (Gallant et al., 1992). Los gránulos de almidón natural, tienen una cristalinidad que varía entre 15 y 45% (Zobel, 1988), presentan un patrón de difracción de rayos X, el cual es generalmente de baja calidad y puede ser utilizado para identificar los diferentes asignaciones de forma del gránulo (allomorphs) (Buleón et al., 1988). La clasificación basada en los espectros de difracción no es igual a la clasificación morfológica del almidón, pero es útil para agrupar la mayor cantidad de almidones convenientemente dependiendo de sus propiedades físicas.

El patrón que se obtiene del almidón proveniente de los cereales se conoce como *tipo A*, el patrón que se obtiene de tubérculos se conoce como *tipo B*, finalmente, el patrón que se obtiene a partir de almidón de leguminosas se conoce como *tipo C* (Zobel, 1988).

Las dos macromoléculas más importantes del almidón son la *amilosa* y la *amilopectina*. Estas se pueden identificar por su grado de solubilización en el gránulo (BeMiller y Whistler, 2009). La cantidad de almidón, los porcentajes de amilosa y amilopectina que lo forman, la estructura granular, la naturaleza y cantidad de lípidos y moléculas proteínicas presentes en cada gránulo de almidón varían con la fuente botánica (Zobel, 1988).

La amilosa es un polímero lineal con enlaces α -(1 \rightarrow 4) glucosídicos, y tiene un grado de polimerización (DP) mayor a 600. La amilopectina, tiene enlaces α -(1 \rightarrow 4) glucosídicos con ramificaciones en α -(1 \rightarrow 6), es el mayor componente del gránulo, del 30 al 99%. Con un peso molecular entre 50 y 500x10⁶ g/mol es uno de los polímeros más grandes de la naturaleza. El 5% de los monómeros de la amilopectina tienen ramificaciones, lo cual, comparado con la amilosa, produce importantes diferencias en su comportamiento físico, químico y biológico (BeMiller y Whistler, 2009). Las ramificaciones presentes en la amilopectina se pueden clasificar en tres grupos denominados como A, B y C. Las cadenas tipo A son cadenas cortas con un grado de polimerización entre 12 y 20, no llevan otras cadenas. Las cadenas tipo B, se conocen como cadenas largas tal que el grado de polimerización (DP) se encuentra entre 30 y 45, llevan entre una o más cadenas. Finalmente las cadenas tipo C, son cadenas muy largas cuyo grado de polimerización es mayor a 60, es la cadena original que lleva el fin de la molécula.

2.2. Referencias de la “chochoca de maíz” o “maíz chochoca”

Calderón (1987), en un estudio entomológico, con la finalidad de evaluar la crianza masiva de *Diatraea saccharalis* F encontró que la dieta a base de microalgas – chochoca y microalgas – maicenas, fueron las más eficientes.

El INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICIÓN (1993), en su publicación “La Composición de alimentos de mayor consumo en el Perú”, describe como alimento autóctono, entre otros, a la chochoca; se trata de una harina procedente de maíz en grano, semi-cocido en pequeña cantidad de agua por poco tiempo y luego secado al aire, es decir una harina precocida de maíz. Esta harina se encuentra en los mercados locales es elaborada en maíz amarillo o blanco; sin embargo, este producto no está caracterizado y consecuentemente, no cuenta con estándares de calidad, por ello es conveniente realizar su caracterización. La composición química, en base seca, para

harinas precocidas de maíz son: Blanca Cajamarca Amarilla, Cajamarca, Blanca La Libertad o Amarilla La Libertad como sigue: Proteína 6,61 6,21 6,25 7,18; Grasa 5,89 5,83 5,50 6,30; Ceniza 1,41 1,47 2,37 2,81; Fibra 2,91 2,57 2,50 2,62; Carbohidratos disponibles 83,18 83,92 83,38 81,09%, respectivamente.

Bejarano et al. (2002), citan comparativamente para maíz Chochoca valores de 375, 7.5, 8.0, 4.2, 78.9, 2.7 y 1.4 y en maíz harina de 360, 11.2%, 9.0%, 4.5%, 73.8%, 2.0% y 1.5%, en Energía, kcal; Agua, Proteína, grasa, CH₂O, Fibra, y Cenizas, respectivamente.

GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO (2005), incluye en su lista a **Chuchuqa**: Chochoca. Mote reseco. Maíz sancochado, secado al Sol, para posteriormente molerlo y preparar un plato típico de la sierra. **Chuchuqachiy**: Hacer secar al Sol el maíz sancochado. Aplícase también a toda cosa blanda que se hace resecar. **chuchuqay**. v. Secarse al Sol el maíz Sancochado Sinon: chuchuqayay.

Rodriguez y Soto (2006) informan que la producción de maíz no es la principal fuente de ingresos, pero constituye la base de la alimentación humana en la sierra, contribuyendo con el 20% de las calorías en las dietas. En la sierra peruana se produce mayormente maíz amiláceo (*Zea mays amilácea* St.), conocido mundialmente como “flour corn” o “soft corn”. Dentro de esta clasificación, podemos incluir al maíz amiláceo amarillo y blanco, el cual puede ser encontrado en Cusco, Cajamarca, Junín, Ancash, Ecuador, Bolivia y en el norte de Argentina. Uno de los productos de mayor consumo es la harina de maíz amarillo amiláceo, conocida como “chochoca”, con la cual se prepara una sopa que, para el campesino constituye su desayuno diario o su plato de sopa de cada día.

Tapia y Fries (2007), han explicado que para la transformación tradicional del maíz existen diferentes técnicas; cada una da un producto distinto: Chochoca: cocción y posterior secado, con exposición a la helada nocturna. La chochoca se elabora en todas las regiones andinas

productoras de maíz; para esto se usan los granos desprendidos de la mazorca durante la cosecha y los granos desparramados en los tendales. Estos se recogen y se les añade los granos sanos de las mazorcas dañadas. A continuación se explica la técnica practicada en el distrito de Julcamarca, Huancavelica: primero se lava el maíz en agua y se pone a la olla para cocinar; después se coloca en una canasta para escurrir y enjuagar con agua. Se extiende en mantas o en plásticos encima de la casa o en marcas (parrillas) preparadas con palos. Hay dos maneras de secar la chochoca, una es con la helada y otra con el calor: Se deja tendido de noche cuando está cayendo la helada hasta que esté bien deshidratada, pueden ser cinco noches o más, depende de la helada; esta chochoca con helada es mejor porque cuando se muele y cocina la sopa con carne, esta última se espesa bastante; _ otra forma es con el calor: solo se deja tendida al sol para que se seque, esto se hace en cualquier momento del año. También se puede hacer chochoca guardando el choclo entero: a los mejores choclos se les quita la panca, dejando solo las últimas dos cáscaras delgadas. Estos choclos se hacen hervir en una olla grande hasta que estén bien cocinados, se escurre el agua y se enjuagan con agua fría. Las mazorcas se amarran en guayungas las que se hacen secar en el sol y se pueden guardar por un año. En tiempos de escasez se hacen hervir nuevamente y resultan como choclo fresco.

MINISTERIO DE SALUD DEL PERÚ (2009), en las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos, cita los siguientes valores en 100 g: Maíz amarillo 355 Kcal, 13.5% de humedad 6.70% de proteína 4.8 de grasa 73.6 de carbohidratos totales, 73.6 carbohidratos disponibles, 3.8 en fibra cruda y 1.4 de cenizas, en maíz blanco crudo: 341, 12.7 5.90, 4.0 76.1 72.9 1.,9 y 1.3; Maíz, blanco tostado: 389, 4.6, 7.20 4.6, 82.1, 82.1, 4.4 y 1.5 Maíz, cancha tostada: 339, 9.5, 6.70 2.7 79.8 74.6, 4.3 y 1.3; Maíz (chochoca) 349, 13.0, 5.20, 2.5, 78.0, 78.0, 3.4 y 1.3.

FAO (s.f.), relata que existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar

las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas. La composición química tras la elaboración para el consumo es un aspecto importante del valor nutritivo, y en ella influyen la estructura física del grano, factores genéticos y ambientales, la elaboración y otros eslabones de la cadena alimenticia.

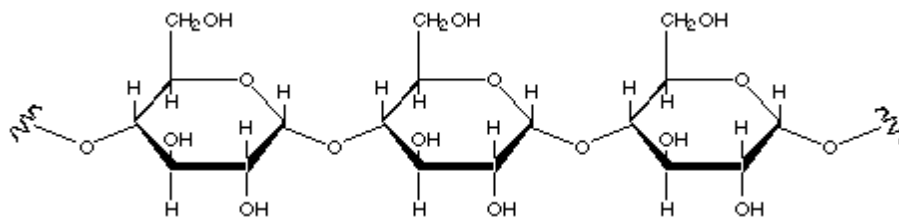
Santa Cruz (2012), describe al maíz como uno de los cultivos más importantes del mundo por la cantidad de hectáreas cultivadas y por su aporte a la alimentación. En el Perú existen 55 variedades de maíz, según la forma, color de la mazorca y su adaptación a diferentes alturas. Oriundo de las Américas; su procedencia exacta es un misterio lo que se ha convertido en una disputa silenciosa entre los países de México, Perú y Guatemala que pugnan por decirse el lugar oriundo de este alimento que es el de mayor producción en el mundo. Se sabe que estas tres culturas, (Inca, Maya y Azteca) con muchos rasgos de similitud, establecieron su economía y alimentación en base al maíz. Para la transformación del maíz existen diferentes técnicas, cada una da un producto distinto: Chochoca: cocción y posterior secado, con exposición a la helada nocturna.

2.3. Efectos del tratamiento térmico sobre el valor nutritivo del almidón.

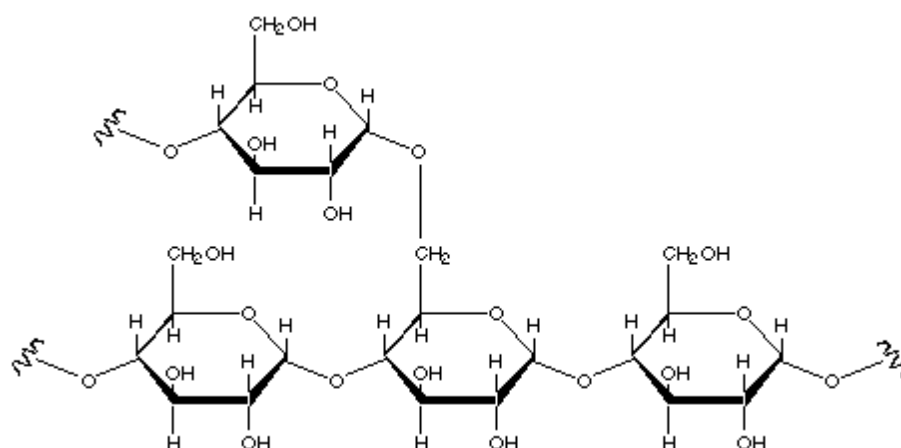
2.3.1. El almidón.

El almidón constituye la principal reserva alimenticia de todas las plantas. Este polisacárido se almacena en tallos, como la palmera sagú, o en tubérculos, como en las papas, yuca y camote (Fox, 1997). Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles a temperatura ambiente. Se hidratan muy poco en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35% (Coultate, 1984).

El almidón consta de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. La amilosa esta constituida por largas cadenas de restos de α -D-glucopiranosil unidos a través de enlaces glucosídicos α -1,4, y pesos moleculares hasta de un millón (Coultate, 1984). Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Los dos almidones de maíz comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen comercialmente poseen contenidos aparentes de masa alrededor del 52% y del 70-75% (Fox, 1997). La figura 1 muestra la estructura de la amilosa.



La amilopectina (figura 2) se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como céreos (Fox, 1997).



Las propiedades funcionales del almidón, dependen de varios factores, entre ellos, el tipo de clima o región geográfica donde se desarrolle la planta (García y Walter, 1998), la proporción de amilosa y amilopectina en la estructura molecular del gránulo que cada uno de los dos componentes que lo conforman, guarden en la estructura molecular de estas cadenas, la arquitectura del gránulo y la presencia de otras sustancias que pueden interaccionar y cuya presencia depende de la pureza después de su extracción (Balagopalan, *et al.*, 1988; Kokini, *et al.*, 1992, Aparicio, *et al.*, 2003).

Sin embargo, se ha encontrado, que de todos los factores mencionados, la concentración de sus componentes amilosa y amilopectina, es el factor que ejerce mayor influencia en el comportamiento del almidón y que dependiendo de su origen, los almidones pueden contener, de manera general, 20-39 g de amilosa y 61 a 80 g de amilopectina/100 g de almidón.

En el gránulo, existen niveles de organización interna y diferencias entre la naturaleza de su envoltura; relacionados con la facilidad y grado de hinchamiento del gránulo y pérdida de estructura; así como también, con la eficiencia de las reacciones y grado de sustitución obtenido, cuando un almidón se hace reaccionar con sustancias para obtener algún derivado. Para gránulos que deben ser expandidos a todo su potencial cuando son calentados en agua, es esencial que la

amilopeptina conserve su integridad estructural, también el daño mecánico tiene un efecto marcado sobre las propiedades fisicoquímicas del almidón.

Si la amilopeptina es hidrolizada por métodos químicos y enzimáticos el poder de hinchamiento es reducido; ya que el hinchamiento es una propiedad primaria de la amilopeptina y es regulada por la cristalinidad de los almidones (Tester y Karkalas, 1996).

Cuando los gránulos se rompen, crean una serie de fracciones que juegan un papel diferente cada uno, en las propiedades de gelatinización e hinchamiento de los gránulos; tales fracciones son: gránulos nativos, gránulos fragmentados (ordenados o formadores de gel) y material soluble de bajo peso molecular. Los fragmentos ordenados, son derivados de la pared rota del gránulo y detiene el alto nivel de su estructura nativa integra; los fragmentos formadores de gel se comportan como tal en agua fría y carecen de integridad ordenada. Mientras que los fragmentos de bajo peso molecular son producidos cuando se rompen las regiones de las ramificaciones formadas por glucosas con enlace glucosídico α (1,6) y todos ellos son de longitud comparable. Ambos fragmentos son hidrolizados por la enzima α -amilasa.

El almidón puede funcionar, como aditivo o materia prima principal. En productos industriales, ya sean alimentos, farmacéuticos, papelería, textiles o adhesivos, impartiendo características bien diferenciadas al producto al que haya sido adicionado y según sea el origen. Los almidones nativos utilizados en la industria alimentaria, presentan diferentes características fisicoquímicas; que se deben a tres factores principalmente: a los diferentes tipos de estructura del gránulo de almidón, a la proporción existente entre las cadenas de amilosa y amilopeptina y a la presencia de otras sustancias diferentes al almidón, que al interaccionar con el, lo hacen mas susceptible a las condiciones de proceso (Balagopalan, *et al.*, 1988; Molins, 1991).

El uso de los almidones nativos en el procesamiento de los alimentos está limitado principalmente por su tendencia a retrogradar y presentar sinéresis, o bien por la inestabilidad de su viscosidad durante el procesamiento. Tratando de modificar esta característica se han desarrollado procesos de modificación física y química como el entrecruzamiento de los almidones nativos. Estos estudios han ampliado y mejorado la gama de sus propiedades funcionales, permitiendo desarrollar nuevos productos, encontrar nuevas aplicaciones y cubrir los requerimientos del industrial, dentro del procesamiento de alimentos (Light, 1990; Rosalina y Bhattacharya, 2002; Aparicio, *et al.*, 2003).

El proceso de pregelatinización incrementa la solubilidad pero restringe la capacidad de hinchamiento del gránulo y la viscosidad del almidón. Los cambios químicos como el entrecruzamiento, inducen la formación de enlaces transversales, estabilizando la estructura, y con esto la viscosidad en alimentos procesados a temperaturas de 90°C. La sustitución de los grupos hidroxilo de algunas moléculas de la glucosa en el almidón, por grupos acetilo, hidroxipropilo y fosfato, elevan la capacidad de retención de agua e impiden los fenómenos de recristalización, retrogradación y sinéresis en los geles durante el almacenamiento (Light, 1990; Molins, 1991; Rosalina y Bhattacharya, 2002; Aparicio, *et al.*, 2003).

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, maíz céreo, maíz amiloso, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de papa, batata y tapioca. Tanto los almidones comerciales como los almidones modificados tienen múltiples posibles aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejimiento de pan, gelificante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante.

El almidón es el componente mayoritario y el que posee múltiples propiedades funcionales: ligante, enturbiantes, formador de películas, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante (incluye espumas), texturizante y espesante.

Los gránulos de almidón intactos no son solubles en agua fría, pero pueden embeber pequeñas cantidades de agua en forma reversible, ocasionando un pequeño hinchamiento. Sin embargo, cuando se incrementa la temperatura, las moléculas vibran vigorosamente, rompiéndose los enlaces intermoleculares y permitiendo así la formación de puentes de hidrógeno con el agua. La penetración de agua al gránulo provoca la pérdida de la cristalinidad, conociéndose este fenómeno como gelatinización del almidón. Normalmente la gelatinización se produce en un estrecho margen de temperatura, gelatinizándose primero los gránulos de mayor tamaño y por último los más pequeños. Durante la etapa de gelatinización los gránulos sufren un gran hinchamiento (Figura 10). Como consecuencia de ello, una suspensión de almidón en agua fría posee una baja viscosidad; por calentamiento se obtiene una pasta viscosa en donde casi toda el agua ha penetrado en los gránulos. En este estado, mediante agitación los gránulos son fácilmente desintegrados por friccionarse unos contra otros, lo cual provoca una disminución de la viscosidad de la pasta. Las moléculas de amilosa, en la fase inicial de la gelatinización, difunden hacia y a través de la membrana superficial y pasan así a la solución extragranular. Por enfriamiento rápido de la pasta de almidón generalmente se produce un incremento de la viscosidad, mientras que en ausencia de agitación se produce la formación de un gel. Los geles tienden a sufrir retrogradación. Se designa con este término a la intensa e irreversible transición desde el estado soluble o disperso a otro insoluble, no hinchado y microcristalino, que puede ser también alcanzado por enfriamiento lento del engrudo. La tendencia a la retrogradación se ve incrementada por bajas temperaturas, pH neutro, altas concentraciones y ausencia de compuestos tensioactivos.

El almidón es un polisacárido compuesto por un número de monosacáridos (glucosa) unidos por enlaces α -(1-4) y / o α -(1-6). Está conformado por dos componentes estructurales principales: la amilosa, polímero lineal, conformado por glucosas unidas por enlaces α -(1-4) y el cual constituye entre un 15% a 20% del almidón y la amilopectina, estructuralmente representada como una molécula ramificada (80 a 85%), cuyas unidades se encuentran acopladas por enlaces α -(1-4) y α -(1-6), siendo uno de los mayores componentes del almidón (BNF, 1990). En muchas de las plantas utilizadas para la alimentación humana y animal, los almidones son los principales constituyentes, donde por selección de plantas y variedades se han logrado obtener unos mayores contenidos de almidón, los cuales son fácilmente extraíbles y presentan una alta digestibilidad, como son los presentes en la papa, arroz, trigo, maíz y yuca, entre otros (Morell et al., 2004).

En la naturaleza, el almidón está disponible en abundancia y solamente es superado por la celulosa como componente orgánico natural. Los países desarrollados (Canadá, Estados Unidos, Europa y Japón) comparten entre ellos el 77% del mercado global de almidón (Sansavani y Verzoni, 1998), siendo el sector de alimentos para humanos, el que demanda un 55% de la producción global versus el 45% que es utilizado por la industria en diversos sectores (De Cock, 1996). En el sector de alimentos para humanos, el uso del almidón tiene una influencia directa sobre las características de los alimentos como: estética, humedad, consistencia y estabilidad en los estantes. El almidón también es usado como ligante o para expandir o aumentar la densidad de un producto; para clarificar o dar opacidad al mismo; para atraer humedad o inhibir humedad; para mejorar la textura; para cubrir suavemente o rústicamente un alimento y para estabilizar las emulsiones (De Cock, 1996).

La biosíntesis del almidón en un cultivo particular es fundamental para comprender y eventualmente manipular el potencial de generar almidón resistente (AR). El almidón AR incluye la porción de almidón que resiste la digestión de la amilasa pancreática en el intestino delgado y

que en consecuencia alcanza el colon. El comportamiento del AR es fisiológicamente similar al de una fibra soluble fermentable que incrementa el volumen fecal y disminuye el pH a nivel del colon (Slavin et al., 2009) y que en humanos mejora el control de la glicemia, la salud intestinal y los factores de riesgo para enfermedades cardíacas (Lunn y Buttris, 2007). En general a este tipo de componentes se les refiere como fibra dietaria.

La síntesis de almidones en plantas superiores toma lugar en muchos tejidos, pero los organelos encargados de realizar esta síntesis son los plástidos (Tetlow et al., 1994). En los tejidos verdes, la síntesis de almidón ocurre en el cloroplasto, mientras que en los tejidos de reserva tales como semillas o tubérculos, se realiza en los amiloplastos, donde la activación del sustrato, la elongación de la cadena, la ramificación de esta y su desprendimiento final son los cuatro pasos bioquímicos requeridos para esta síntesis (Mylers et al., 2000). La planta sintetiza el almidón en forma de gránulos, los cuales presentan una superficie lisa y están formados por cadenas de almidón y una matriz de proteína (Martínez-Puig, 2006). Los gránulos se compactan de tal manera que se aprovecha al máximo el espacio para el almacenamiento de energía, y en el caso de la papa estos son grandes y esféricos, frente a los de las leguminosas que presentan forma de riñón (Gallant et al., 1992).

Dentro de los métodos para clasificar los almidones se encuentran el análisis por difracción de rayos X, por medio del cual se pueden designar tres tipos de almidones (A, B y C) de acuerdo a sus patrones de difracción. Esta característica depende en gran medida de la longitud de la cadena compuesta por amilopectina, la densidad del empaquetamiento de los gránulos de almidón y la presencia de agua. Dentro de estos, la longitud de las cadenas de amilopectina da origen a diferencias marcadas entre los tres tipos de almidones, siendo para el tipo A más cortas (23 - 29 unidades de glucosa), frente al tipo B (30 - 44 unidades de glucosa), pero similares a las del tipo C (26 - 29 unidades de glucosa) (Wu y Sarko, 1978).

En los cereales se presenta el tipo A, mientras que los tubérculos muestran un patrón tipo B y en las leguminosas se observa un patrón tipo C, el cual resulta de la combinación de los tipos A y B (Gernat y col., 1990). Los patrones espectrales para los tipos A y B, se generan a partir de dos formas de estructura cristalina, relacionada con la amilopectina, debido a que las ramificaciones α - (1 - 6) favorecen la formación de hélices, mientras que la amilosa ocupa la región amorfa del gránulo de almidón. Tanto las estructuras tipo A como B presentan un modelo de disposición similar, con dobles hélices paralelas que giran hacia la izquierda. Sin embargo, las estructuras tipo B contienen más agua asociada (Martínez-Puig, 2006).

Los almidones también se pueden clasificar de acuerdo a su comportamiento durante la exposición a diferentes tipos de enzimas (Berry, 1986). Así, podemos encontrar almidones que son rápidamente digeribles, compuestos en su mayoría de formas amorfas y almidones dispersos que se encuentran en productos sometidos a cocción, como el caso de la papa, donde después de 20 minutos de sometida a una digestión enzimática, es convertida a unidades de glucosa. Por tanto, cuando los gránulos de almidón son tratados por calor, ocurre una desorganización irreversible de su estructura cristalina, aumentando la digestibilidad y el valor nutritivo cuando es atacado por las α -amilasas (Pérez y Oliva-Teles, 2002). Con referencia a la susceptibilidad de ser degradados en procesos digestivos, los almidones tipo B o C son más resistentes frente a los del tipo A (Topping y Clifton, 2001). Los almidones lentamente digeribles, están compuestos por almidones amorfos que son físicamente inaccesibles y almidones crudos tipo A y estructuras cristalinas del tipo C, similar a los cereales y fuentes ricas de almidones tipo B, como los gránulos o el almidón retrogradado, luego de ser sometidos a los procesos de cocción. Los almidones resistentes por su parte describen fracciones que son resistentes a la hidrólisis con α -amilasa, correspondiendo este al almidón no hidrolizado después de 120 minutos de incubación (Englyst et al., 1992).

Cuando se realizan procesos térmicos sobre el almidón se pueden generar alteraciones en la conformación estructural del gránulo. Uno de éstos procesos es la gelatinización del almidón, que se inicia con una ruptura de la estructura formada por los gránulos por calentamiento (entre 60 a 70°C) (Colonna y Mercier, 1985), para luego sobre los 90°C, perder su estructura granular, generando fragmentos de amilopectina en una solución de amilasa (Jing-ming y Sen-lin, 1990). Los gránulos de menor tamaño casi siempre necesitan más temperatura para ser gelatinizados (Chiotelli y Le Mestle, 2002) y a su vez granos ricos en amilosa pierden su estructura más lentamente al formar complejos con lípidos, frente a gránulos ricos en amilopectina, afectando de esta forma la hidratación del grano durante el proceso (Vasanthan y Bhatt, 1996).

Luego de la gelatinización, ocurre una gelificación en presencia de humedad como consecuencia del enfriamiento que ocurre después del proceso térmico, presentándose una asociación entre las moléculas de amilosa y amilopectina para generar un gel (Miles et al., 1985), cuyas características son dependientes de: la relación amilosa /amilopectina, la humedad y el tiempo y temperatura a la cual son almacenados los productos finales del proceso. Después de un tiempo ocurre un proceso de recristalización del almidón, originando un patrón de difracción tipo B (Colonna y col., 1982), denominado tipo de patrón de retrogradación, proceso que puede ser inhibido en el caso del almidón de papa, al contener cantidades importantes de azúcares libres (Kohyama y Nishinari, 1991).

2.3.2. Digestión del almidón.

Para que el almidón sea digerido, este debe ser atacado por diferentes enzimas que rompen los enlaces glucosídicos. De esta forma, la α - amilasa salival inicia el ataque sobre los enlaces α - (1 - 4) del almidón en la primera parte del tracto gastrointestinal (TGI), iniciando la liberación de maltosa, maltotriosa y dextrinas (Tester et al., 2004). Al llegar al estómago, el pH afecta la funcionalidad de la enzima salival, luego la α -amilasa pancreática, que actúa sobre los

enlaces terminales, genera residuos de maltosa. Por último, los productos de esta degradación van a ser absorbidos por la superficie luminal de la mucosa intestinal donde se encuentran enzimas como maltasas, isomaltasas y α -dextrinasas, generando glucosa, la cual es absorbida directamente por medio de transportadores activos de la mucosa intestinal (GLUTs) (Zierler, 1999).

Históricamente se ha creído que el almidón de papa a nivel del intestino delgado es totalmente hidrolizado a glucosa. Estudios realizados durante la última década han encontrado que una proporción significativa de almidón (10%) no es digerible a nivel del intestino delgado y pasa intacta al intestino grueso, actuando como sustrato para la fermentación bacteriana (Martínez-Puig, 2006). Estudios en humanos intubados corroboran esta afirmación, al encontrar glucosa libre en el íleon, indicando que la hidrólisis del almidón y la absorción de la glucosa resultante, no siempre es completa (Stephen et al., 1983).

A su vez, la madurez del sistema digestivo va a delimitar la capacidad de absorción por parte del animal. En el caso de cerdos, la capacidad para digerir almidones aumenta con la edad y se asocia con una mayor capacidad del TGI y de las enzimas para realizar la hidrólisis de los almidones (Martínez-Puig, 2006). Sumado a lo anterior la composición de la dieta puede afectar la utilización de los almidones por parte del animal, como ocurre con los polisacáridos no amiláceos (PNA), los cuales aumentan la viscosidad de la digesta, afectando la actividad enzimática sobre el contenido intestinal o la adición de arabinoxilanos en pollos de engorde (Fengler y Marquardt, 1988).

FUNDACIÓN DIABÉTICA (s.f.) La composición química de un alimento en su estado original puede verse notablemente afectado como consecuencia de los diversos procesos tecnológicos a los que se ve sometido durante el trascurso de la cadena alimentaria: producción, elaboración, transformación, almacenamiento y durante la preparación del alimento. En general, a medida que aumenta el grado de transformación de un alimento, mayores suelen ser las modificaciones de su valor nutritivo. Los alimentos en casi todos los procesos culinarios son

sometidos a la aplicación de calor, que es lo que conocemos normalmente como cocción. Durante este proceso los alimentos sufren transformaciones físicas y químicas que afectan al aspecto, la textura, la composición y el valor nutricional de los alimentos. Estos cambios tienen como objetivo mejorar las características sensoriales de los mismos. Durante la cocción los alimentos sufren fenómenos de expansión, concentración, mixta. En general, el calor aumenta la digestibilidad de los alimentos y esto repercute en una mejor utilización de los nutrientes por el organismo. Se producen cambios en el olor, color, sabor, volumen, peso y consistencia que hacen que cambien las propiedades sensoriales de los alimentos.

Los granos de cereales contienen entre un 70 y un 80% de almidón, que se encuentra en el endospermo, formando gránulos compuestos principalmente por amilopectina, el componente más abundante del almidón (70-80%), cuya estructura ramificada, según French, 1984), comprende zonas organizadas o cristalinas, compuestas por los residuos lineales de α -1,4 glucosa, y zonas amorfas ricas en residuos de α -1,6 glucosa o puntos de ramificación. El componente minoritario del almidón, la amilosa (polímero lineal de α -1,4 glucosa), se encuentra unido a la estructura de la amilopectina por puentes de hidrógeno, localizados fundamentalmente en las regiones amorfas. La influencia de esta estructura sobre la digestibilidad del almidón y el efecto del procesado del grano ha sido revisada detalladamente por Rooney y Plugfelder (1986). Las regiones cristalinas de la molécula de almidón son resistentes a la entrada de agua y al ataque enzimático, mientras que las regiones amorfas son más permeables al agua y susceptibles a la acción enzimática que, generalmente, comienza en esta región, aunque se encuentra restringida por los enlaces de la amilosa con la amilopectina. La aplicación de suficiente energía para romper los puentes de hidrógeno intermoleculares provoca la gelatinización del almidón o pérdida irreversible de su estructura original (Harbers, 1975). Durante la gelatinización, los gránulos de almidón aumentan su absorción de agua, se expansionan, exudan parte de la amilosa y aumentan su susceptibilidad a la hidrólisis enzimática. Durante el molido y el aplastado en seco del grano, se produce una

disminución del tamaño de partícula que aumenta la superficie de exposición de los gránulos de almidón al ataque enzimático, pero la acción mecánica del tratamiento es suficiente para producir un cierto grado de gelatinización que aumenta la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática. La gelatinización comienza por la ruptura de enlaces con la amilosa en la zona amorfa, mientras que la penetración de calor y agua en la región cristalina ocurre más lentamente, ayudada por la mayor plasticidad de la región amorfa. En los tratamientos húmedos, la presencia de agua aumenta la plasticidad de las regiones amorfas, favoreciendo considerablemente la desestructuración de las regiones cristalinas. Así, la combinación de calor y humedad provoca un alto grado de gelatinización del almidón que, unido a la mayor superficie de exposición lograda al aplastar el grano húmedo y caliente, aumenta considerablemente su degradación enzimática (Frederick et al., 1973) y su velocidad de fermentación ruminal (Hinman y Johnson, 1974) según la intensidad del tratamiento (Xiong et al., 1991).

Anónimo (s.f.), refiere que es importante conocer cómo podemos incrementar la digestibilidad de los almidones de los cereales. La digestibilidad del almidón viene condicionada por el origen y tratamiento del mismo. En general, la avena es el cereal que posee un almidón más digestible (cerca del 83 %) frente al maíz entero, cuya digestibilidad apenas sobrepasa el 30%. A medida que vamos procesando los cereales vamos aumentando la digestibilidad del almidón, ya sea por procesos mecánicos (partido, molido) o bien por tratamiento térmico y vapor (granulado o extrusionado, como en los piensos compuestos). Con estos procesos vamos a romper la estructura del almidón y en casos como la granulación y extrusión, vamos a predigerir el almidón, a gelatinizarlo, para facilitar su digestión en el caballo. Con el aplastamiento de la avena conseguimos tan sólo un leve incremento de la digestibilidad del almidón de la misma (de un 83% a un 85%), por lo que si vamos a hacerlo, debemos realizar el proceso el mismo día para evitar problemas de oxidación, y contaminación microbiológica. En cereales tales como el trigo, el maíz o la cebada, es mucho más interesante procesarlos térmicamente, ya que pasamos de

digestibilidades del 29% al 80%, de ahí la importancia de los piensos compuestos, granulación y extrusionado.

2.3.3. Modificaciones térmicas del almidón.

2.3.3.1. Transición de Gelatinización.

La *gelatinización* es el término usado para describir eventos moleculares asociados con el calentamiento de almidón en agua, el cual cambia de una forma *semicristalina* a una forma eventualmente *amorfa*. La temperatura en la cual este cambio ocurre se le llama *temperatura de gelatinización* (T_p). En condiciones de exceso de agua, los puentes de hidrógeno de la región amorfa del granulo se rompen permitiendo que el agua se asocie con los grupos hidroxilos libres. Esto está definido por la movilidad de las cadenas de los polímeros por encima del valor de la temperatura de transición vítrea (T_g), ocurriendo el cambio de estado vítreo a plástico. Este cambio a su vez, facilita la movilidad molecular en las regiones amorfas, siendo un proceso reversible y permitiendo el hinchamiento del grano. El gránulo se expande al mismo tiempo que los polímeros se hidratan. Posteriormente se produce una transición molecular irreversible, la disociación de las dobles hélices propias de la región cristalina. Existen dos tratamientos hidro-térmicos que modifican las propiedades fisicoquímicas del almidón sin destruir la estructura granular, los cuales son *annealing* y tratamiento combinado *calor-humedad*. Ambos tratamientos requieren el almacenamiento del almidón a un contenido de humedad y temperatura específicos durante un periodo de tiempo determinado. Estas modificaciones ocurren a temperaturas por encima de T_g y toman lugar en las áreas amorfas del almidón cuando se encuentran en estado gomoso (Jacobs, 1988; Camire, 1990 y Tester, 2000).

2.4. Alimentación del cuy e índices productivos

En dietas típicas, con altos niveles de maíz amarillo molido en cuyes se han alcanzado diversos índices productivos:

Sánchez (2007), en cuyes mejorados, de ambos sexos, evaluó los siguientes tratamientos: T₀ (ración testigo), T₁ (ración con 15% de harina de lenteja cruda), T₂ (ración con 30% de harina de lenteja cruda), los que además recibieron una cantidad restringida de forrajes (180 gramos/animal/día), los mismos que consistieron en nudillo (*Paspalum nonatun*) y kikuyo o mashango (*Penisetum clandestinum*) y evaluados durante un periodo de nueve semanas. El consumo de concentrado fue de 3.258, 3.153 y 2.701 kg/animal/periodo, equivalentes a consumos diarios de 51.71, 50.05 y 42.88 g/cuy para los tratamientos T₀, T₁ y T₂ respectivamente. Para dichos tratamientos la ganancia diaria y el peso vivo final fueron de 580.30 y 973.10; 509.50 y 848.50; 460.7 y 784.70, correspondiéndoles ganancias diarias de 9.21, 8.09 y 7.31, en orden señalado de tratamientos, los mismos que alcanzaron índices de conversión alimenticia y mérito económico de 5.61 y 4.66; 6.19 y 5.01; 5.86 y 4.81.

Vargas (2008), en cuyes mejorados, evaluó 0 10 y 20% de harina de banano y halló consumo de concentrado de 1.361, 1,256 y 1.141 kg/cuy/periodo, que equivalen a consumos diarios de 21.60, 19.94 y 18.11 g/cuy en T₀, T₁ y T₂, respectivamente, con mermas en estos dos últimos de 7.69 y 16.12% frente al testigo. La ganancia total, diaria y el peso vivo final, para dichos tratamientos, fueron de 510.40, 8.10 y 869.6; 439.80, 6.98 y 796.2; 431.70, 6.85 y 790.9 g, respectivamente y sin diferencias estadísticas entre los tres tratamientos. Para los citados tratamientos, la conversión alimenticia y el mérito económico, del concentrado, fueron de 2.67 con 2.35; 2.86 con 2.41; 2.64 con 2.13; mientras que la conversión alimenticia para la materia seca total y el mérito económico incluyendo el forraje fueron de 6.08 con 4.21 en T₀, 6.84 con 4.57 en T₁, 6.73 con 4.33 en T₂.

Gonzales (2008), en cuyes mejorados, destetados, línea Cajamarca, criados bajo condiciones de la sierra de Cutervo, con pesos iniciales de aproximadamente 350 g, de ambos sexos, fueron evaluados en raciones con harina de bituca (*Colocasia esculenta*) en los siguientes tratamientos: T₀ (0%), T₁ (10%) y T₂ (20%) y evaluados durante 9 semanas. El consumo de concentrado fue de 1.839, 1,729 y 1.801 kg/cuy/periodo, que equivalen a consumos diarios de 29.19, 27.44 y 28.59 g/cuy en T₀, T₁ y T₂, respectivamente. La ganancia total, diaria y el peso vivo final, en el orden señalado de tratamientos, fueron de 338.60, 5.37 y 726.80; 330.50, 5.25 y 716.10; 316.40, 5.02 y 666.4 g, respectivamente y sin diferencias estadísticas entre los tres tratamientos. Para los citados tratamientos, la conversión alimenticia y el mérito económico, fueron de 5.43 con 4.13; 5.23 con 3.69; 5.69 con 3.86.

Vásquez (2009), en cuyes mejorados, evaluó 0, 10% y 20% de harina de arracacha) encontrando consumos de 2.948, 2.675 y 2.739 kg/cuy/periodo, ganancias totales, diarias y el peso vivo final de 0.569, 9.03 g y 0.910 kg; 0.542, 8.6 g y 0.807 kg; 0.598, 9.5 g y 0.925 kg y conversiones alimenticias de 5.18, 4.94 y 4.58, con méritos económicos de 3.99, 3.95 y 3.80.

Cieza (2009), en cuyes, provenientes de una crianza rural, mejorados con reproductor de la línea Cajamarca, destetados, con un peso inicial, promedio, de 292 gramos, de ambos sexos, evaluó raciones conteniendo harina de habas (*Vicia faba*) en los tratamientos: T₀ (0%), T₁ (10%) y T₂ (20%) por un periodo de 9 semanas. El consumo de concentrado fue de 2.075, 2.168 y 1.953 kg/cuy/periodo, que equivalen a consumos diarios de 32.95, 34.41 y 31.01 g/cuy en T₀, T₁ y T₂, respectivamente. La ganancia total, diaria y el peso vivo final, para dichos tratamientos, fueron de 488.22, 7.75 y 792.67; 515.11, 8.18 y 815.67; 399.67, 6.34 y 774.090 g, respectivamente y sin diferencias estadísticas entre los tres tratamientos. Para los citados tratamientos, la conversión alimenticia del concentrado, materia seca total y el mérito económico del concentrado fueron de 4.25, 8.67 y 3.44 en T₀, 4.21, 8.38 y 3.58 en T₁, 5.89, 10.31 y 4.40 en T₂.

Terrones (2009), trabajando en cuyes mejorados, línea Cajamarca, en los siguientes tratamientos: T₁ (0% de harina de arvejas), T₂ (10% de harina de arvejas) y T₃ (20% de harina de arvejas en el concentrado) y evaluados durante nueve semanas experimentales. El consumo de concentrado fue de 2.050, 2.070 y 1.962 kg/cuy/periodo, equivalentes a consumos diarios de 32.54, 32.85 y 31.14 g/cuy, para T₁, T₂ y T₃, respectivamente. En ese mismo orden de tratamientos, los pesos vivos finales, ganancias totales y diarias fueron de 801.00, 488.00 y 7.75 g en T₁; 733.5, 414.7 y 6.58 g en T₂ y 849.60, 541.00 y 8.59 g en T₃, no habiéndose hallado diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los índices de conversión alimenticia y del mérito económico fueron de 6.75 y 5.76 en T₁; 7.98 y 6.16 en T₂; 5.94 y 4.66 en T₃. Para el concentrado se determinaron conversiones alimenticias de 4.20, 4.99 y 3.63 en T₁, T₂ y T₃, respectivamente.

Ramirez (2012), evaluó una ración testigo, 10 y 20% de harina de achira, determinando consumos de 29.62, 30.59 y 32.71 g/cuy/día, ganancias y pesos vivos finales de 369.25 y 646 g, 396.2 y 667 g, 320 y 607 g, las conversiones alimenticias y méritos económicos de 5.06 con 4.04; 4.86 con 3.79; 6.44 con 4.91.

Maluquis (2014), en cuyes, mejorados, machos, destetados, con peso inicial de 288 gramos, aproximadamente, estudió los siguientes tratamientos: T₀ (sin harina de papa), T₁ (15% de harina de) y T₂ (30% de harina de papa) encontrando consumos de concentrado de 2.109, 2.141 y 2.150 kg/animal/periodo (33.47, 33.98 y 34.13 g/a/día), en T₀, T₁ y T₂; pesos finales, incrementos totales y diarios de 1.062, 1.060 y 1.097 kg, 0.779, 0.784 y 0.809 kg; 12.38, 12.32 y 12.87 g, sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos e índices de conversión alimenticia y mérito económico de 2.71 con 3.00 en T₀; 2.73 con 2.68 en T₁; y 2.66 con 2.24 en T₂.

Idrogo (2014), al evaluar el uso de harina de bituca, en cuyes, en niveles de 0, 15 y 30%, halló consumos de 2.032 en T₀, baja a 2.017 en T₁ y sigue disminuyendo hasta 1.997

kg/cuy/periodo en T₂. Pesos finales (1000.8, 1003.3 y 1011.8), incrementos totales de peso vivo (721.4, 721.7 y 730.6) y ganancias diarias de peso vivo (11.45, 11.46 y 11.60), conversión alimenticia con 15 y 30% del producto (2.79 y 2.73) frente a 2.82 del grupo testigo.

Toro (2014), al evaluar concentrados con harina de plátano (*Musa sp*) en 0, 15 y 30% halló consumos del concentrado de 2.081, 2.231 y 1.967 kg/cuy/periodo (29.73, 31.87 y 28.09 g/cuy); ganancia total, diaria y peso vivo final de 726.91, 10.38 y 999.64; 759.64, 10.85 y 1022.55; 720.73, 10.30 y 967.09 g; conversiones alimenticias y méritos económicos, del concentrado de 2.86 con 3.36; 2.94 con 3.14; 2.73 con 2.70, mientras que la conversión alimenticia para la materia seca total y el mérito económico incluyendo el forraje fueron de 5.39 con 4.53 en T₀, 5.34 con 4.22 en T₁, 5.30 con 3.84 en T₂.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Lugar del estudio y duración experimental.

El ensayo se llevó a cabo en una crianza familiar, en la ciudad de Cutervo, provincia del mismo nombre, Región Cajamarca. Geográficamente, Cutervo, se ubica a una altura de 2 649 m.s.n.m., 78° 50' 56" de longitud oeste, 06° 21' y 54" de latitud sur. La fase de crecimiento – engorde se inició en el mes de agosto del año 2015 y se dio por concluida en octubre del mismo año, luego de una fase de campo de diez semanas.

3.2. Material experimental

3.2.1. Tratamientos experimentales.

Los niveles de chochoca en las raciones determinaron los siguientes tratamientos:

T₀: 0% de chochoca: 50% de maíz amarillo molido.

T₁: 25% de chochoca: 25% de maíz amarillo molido

T₂: 50% de chochoca: 0% de maíz amarillo molido

3.2.2. Material biológico del estudio

Para el estudio se dispuso de 36 cuyes, mejorados, machos, destetados y con un peso inicial de aproximadamente 250 gramos.

3.2.3. Materiales y equipos empleados

- ✓ Balanza de precisión, con aproximación de 2 g
- ✓ Cámara digital

- ✓ Aretes de identificación
- ✓ Comederos y bebederos
- ✓ Registros de crianza
- ✓ Material de limpieza
- ✓ Jaulas de tela metálica
- ✓ Otros que fueron requeridos para un manejo óptimo del experimento

3.3. Metodología experimental

3.3.1. Variables experimentales.

a. Variable Independiente:

- ✓ Harina de chochoca

b. Variable dependiente:

- ✓ Consumo de concentrado
- ✓ Ganancia de peso vivo
- ✓ Conversión alimenticia
- ✓ Mérito económico

3.3.2. Inicio y conducción del experimento.

Al inicio se identificaron individualmente, registros del peso inicial y, distribuidos en tres lotes homogéneos y asignados, al azar, a uno de los tres tratamientos experimentales.

Durante el experimento se registraron los suministros diarios de concentrado y de forraje a cada tratamiento. Semanalmente se controlaba el consumo a fin de establecer los promedios diarios dentro de cada semana experimental, total y promedio general. El peso vivo se controló al inicio, cada 14 días, hasta el peso final a los 70 días (10 semanas experimentales).

3.3.3. Elaboración del insumo problema: chochoca.

Con el este insumo que provenía de cultivo familiar, se siguieron los siguientes pasos:

- Recolección de la mazorca en estado semimaduro
- Cocción en poca agua, durante 10 minutos aproximadamente
- secado por un periodo de 10 días hasta observar un grano totalmente seco
- Molienda
- Incorporación a la ración según el nivel establecido

3.3.4. Formulación de raciones.

Se elaboraron tres raciones cuya diferencia era el nivel de chochoca y balanceadas a niveles isoprotéicas e isoenergéticas.

CUADRO 1. CONCENTRADO PARA CRECIMIENTO-ACABADO EN CUYES. %

INGREDIENTES	T ₀	T ₁	T ₂
Maíz amarillo, molido	50.00	25.00	00.00
Chochoca	00.00	25.00	50.00
Polvillo de arroz	27.00	26.50	27.00
Torta de soya	22.00	22.50	22.00
Carbonato de calcio	00.60	00.60	00.60
Sal común	00.30	00.30	00.30
Premezcla Vitaminomineral	00.10	00.10	00.10
VALOR NUTRITIVO:			
Proteína, %	18.03	18.00	18.03
NDT, %.	69.00	68.80	67.95
COSTO: S/Kg.*	1.36	1.50	1.49

*Considerando S/. 2.80/kg de chochoca

Adicionalmente se suministraba el forraje en cantidades controladas, siguiendo, para los tres tratamientos, el orden que se detalla:

1 ^{ra} . semana	: 50 g/animal/día
2 ^{da} . semana hasta la 3 ^{ra} .	: 80 g/animal/día
4 ^{ta} . semana hasta la 6 ^{ta} .	: 100 g/animal/día
7 ^{ma} . semana hasta la 8 ^{va} .	: 150 g/animal/día
9 ^{na} . hasta la 10 ^a .	: 180 g/animal/día

3.3.5. Variables controladas y evaluadas

- Peso vivo inicial, cada 14 días y a los 70 días (final)

- Consumo de alimento, diario, semanal y total, Kg, g.
- Gasto en alimentación, S/.
- Conversión alimenticia
- Mérito económico.

3.3.6. Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó el Diseño Completamente Randomizado, DCR, con tres tratamientos (niveles de chochoca) y 12 cuyes por tratamiento. El modelo aditivo lineal y esquema del análisis de varianza se detallan a continuación (**CORDERO, 2008**):

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable observada y controlada (peso vivo)

U = Media

T_i = Efecto del producto ($i = 3$)

E_{ij} = Error experimental.

CUADRO 2. ESQUEMA DEL ANALISIS DE VARIANZA

FUENTES DE VARIACION	G. L.
Tratamientos	2
Error experimental	33
TOTAL	35

Donde se halló diferencias estadísticas significativas se aplicó la Prueba de Duncan

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

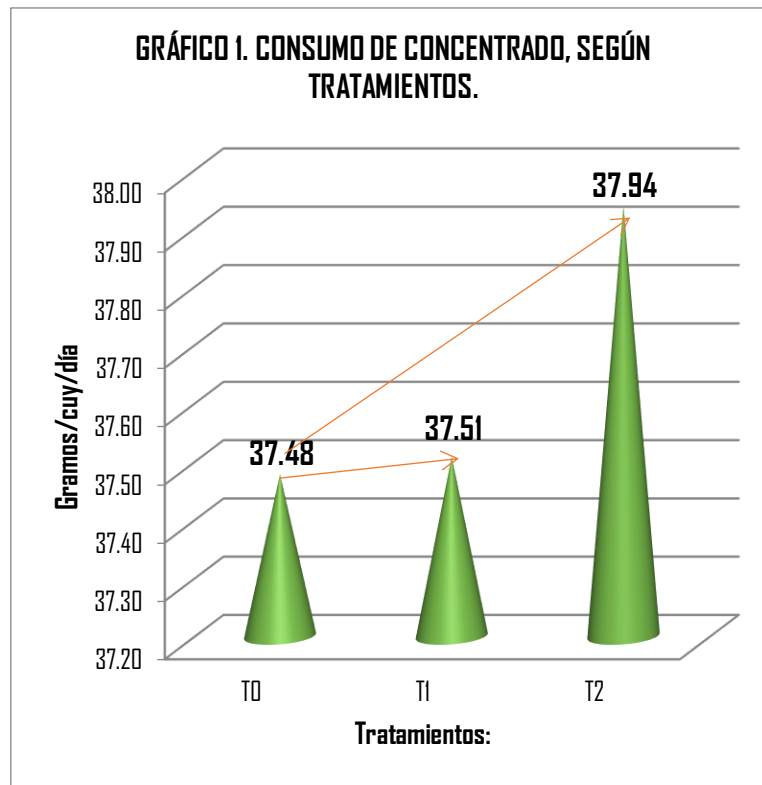
4.1. Consumo de alimentos

Los consumos observados, en cada tratamiento, en cada semana experimental, se exponen en el Cuadro 3.

CUADRO 3. CONSUMO DE CONCENTRADO EN CUYES DURANTE SU CRECIMIENTO Y ACABADO.

SEMANA EXPERIMENTAL	TRATAMIENTOS		
	T ₀	T ₁	T ₂
1	18.00	17.03	19.10
2	26.45	24.90	25.00
3	33.40	31.00	32.26
4	35.10	33.80	34.28
5	39.38	37.00	39.40
6	41.66	40.70	41.80
7	46.16	47.08	47.16
8	48.10	50.00	50.86
9	48.80	56.10	50.98
TOTAL:			
Kg/cuy/periodo	2.361	2.363	2.390
Gramos/cuy/día	37.48	37.51	37.94
Cambio, respecto a T₀; %	-----	+ 0.08	+ 1.23

La información expuesta indica que no hubo una incidencia visible de la ración sobre el consumo de concentrado. Aun cuando los consumos en las raciones con chochoca están por encima de la ración testigo (37.51 y 37.94 g/animal/día), Expresando los cambios de los dos tratamientos con chochoca respecto al testigo, se encuentra una cambio ascendente de 0.08% en T₁ y 1.23% en T₂, frente a T₀. Gráfico 1.



La bibliografía reportada sobre alimentación de cuyes, muestra que el consumo depende significativamente del tipo de insumos que conforman la ración, principalmente los energéticos.

Al comparar nuestros resultados con **GONZALES (2008)**, que incorporó bituca hasta un nivel de 20%, y registró menores consumos en todos los niveles que ensayó (1.839, 1,729 y 1.801 kg/cuy/periodo, Consumos mayores se encontró en cuyes alimentados con 0, 10% y 20% de harina de arracacha (2.948, 2.675 y 2.739 kg/cuy/periodo), citado por **Vásquez (2009)**; sin embargo sucede lo contrario al comparar con el estudio de **RAMIREZ (2012)**, que evaluó una ración testigo, y 10 y 20% de harina de achira y sus consumos fueron menores (29.62, 30.59 y 32.71 g/cuy/día).

Mayores consumos halló **SÁNCHEZ (2007)**, cuando evaluó una ración testigo, y raciones con 15% y 30% de harina de lenteja cruda y refiere consumos de 3.258, 3.153 y 2.701 kg/animal/periodo; en tanto que menores consumos de concentrado es mencionado por **VARGAS**

(2008), en cuyes mejorados, cuando evaluando 0, 10 y 20% de harina de banano halló consumos de 1.361, 1,256 y 1.141 kg/cuy/periodo. También se mencionan consumos menores en el experimento de **CIEZA (2009)**, cuando evaluó raciones conteniendo harina de habas (*Vicia faba*) e informa consumos entre 2.075, 2.168 y 1.953 kg/cuy/periodo. Igual comparativo se establece con **TERRONES (2009)**, en cuyo ensayo con 0, 10% y 20% de harina de arvejas en el concentrado, muestra consumos inferiores (2.050, 2.070 y 1.962 kg/cuy/periodo).

MALUQUIS (2014), cita menores consumos de concentrado (33.47, 33.98 y 34.13 g/a/día), en raciones con harina de papa; igual que **IDROGO (2014)**, halló consumos de 2.032 en T₀, baja a 2.017 en T₁ y sigue disminuyendo hasta 1.997 kg/cuy/periodo en T₂ en raciones con harina de bituca. Finalmente, **TORO (2014)**, con harina de plátano (*Musa sp*) en 0, 15 y 30% halló consumos menores (2.081, 2.231 y 1.967).

4.2. GANANCIAS DE PESO VIVO

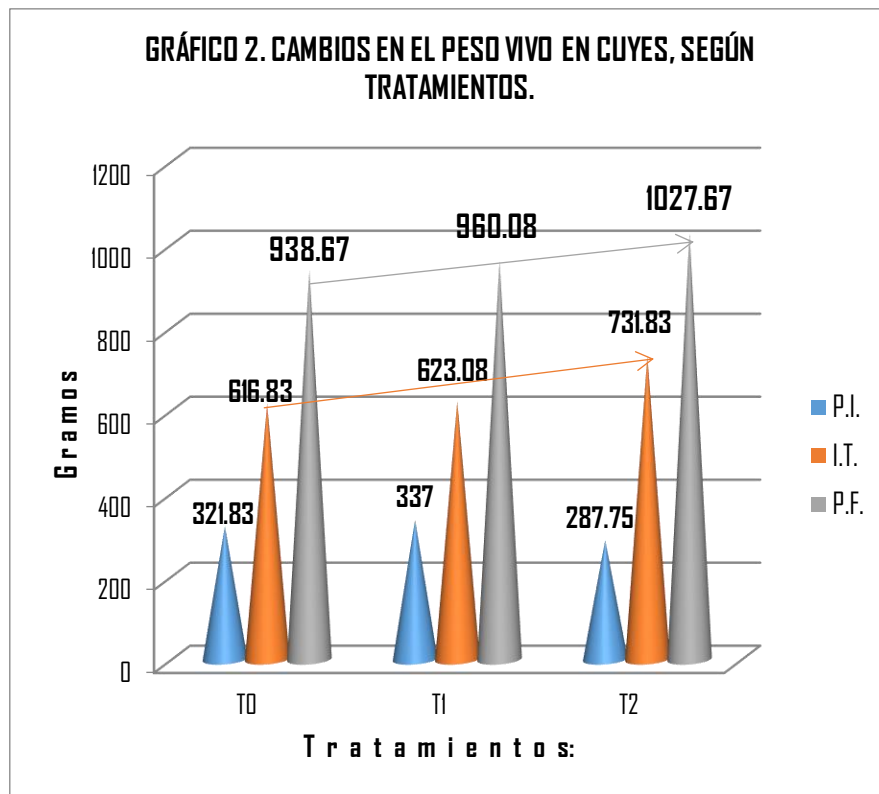
Los cambios de peso vivo registrados en el periodo experimental, se hallan en el Cuadro 4.

CUADRO 4. CAMBIOS DE PESO VIVO EN CUYES, SEGÚN TRATAMIENTOS

OBSERVACIONES	TRATAMIENTOS		
	T ₀	T ₁	T ₂
Peso vivo inicial, g.	321.83	337.00	287.75
Peso vivo final, g.	938.67 ^a	960.08 ^a	1027.67 ^a
Ganancia de peso vivo:			
g/a/periodo	616.83 ^b	623.08 ^b	731.83 ^a
g/a/día	8.81	8.90	10.31
Cambio, respecto a T₀; %	-----	+ 1.02	+ 17.03

a, b_/ Exponenciales indicando diferencias estadísticas (p<0.01) entre medias.

Los pesos finales, ganancias totales y diarias, en cada tratamiento, mejoraron progresivamente conforme se aumentaba el nivel de chochoca en la ración. Así lo muestran los valores de 938.67, 616.83 y 8.81 g en T₀, 960.08, 623.08 y 8.90 en T₁, 1027.67, 731.83 y 10.31 g en T₂. No es notoria la ventaja lograda en T₁ con respecto a T₀ (+1.02%), sin embargo, es relevante la ventaja de T₂, con respecto a T₀ (+17.03%). Gráfico 2.



La Prueba de Homogeneidad de varianza para los pesos iniciales, efectuada mediante la Prueba de X² (Cuadro 1A), indica que las varianzas fueron homogéneas al inicio del experimento y en consecuencia, indica, que no hubo efecto del peso inicial sobre la respuesta productiva.

El análisis de varianza para incremento total de peso vivo (Cuadro 2A) mostró que hay diferencias estadísticas significativas entre los promedios de tratamientos ($p < 0.01$); sin embargo, en el análisis respectivo para peso final (Cuadro 2A) no hubieron diferencias estadísticas;

atribuyéndose a las amplias distribuciones estándar halladas en los dos tratamientos con chochoca en la ración frente a lo hallado en el grupo testigo.

Comparaciones con trabajos llevados a cabo en la zona con insumos sustitutorios del maíz permiten apreciar lo siguiente: Se supera a la respuesta hallada con harina de arracacha, en niveles de 0, 10 y 20% de la ración, en ganancia total, diaria o peso vivo final (**VASQUEZ, 2009**). Así mismo, se supera a respuestas de raciones testigo, 10 o 20% de harina de achira, donde sus ganancias totales y pesos vivos finales fueron de 369.25 y 646 g, 396.2 y 667 g, 320 y 607 g, están por debajo de lo alcanzado en el experimento (**RAMIREZ, 2012**). Iguales comparaciones se observa al estudio de **VARGAS (2008)**, quien con harina de banano halló valores de 510.40, 8.10 y 869.6; 439.80, 6.98 y 796.2; 431.70, 6.85 y 790.9 g). También se supera al estudio de **SÁNCHEZ (2007)**, que con raciones sin o con harina de lenteja cruda muestra menores ganancias diarias y peso vivo final (580.30 y 973.10; 509.50 y 848.50; 460.7 y 784.70); ocurriendo lo mismo con **CIEZA (2009)**, cuando evaluó raciones conteniendo harina de habas (*Vicia faba*); o con **TERRONES (2009)**, en raciones con harina de arvejas.

Últimamente, Maluquis (2014), cita en raciones con harina de papa pesos finales, incrementos totales y diarios de 1.062, 1.060 y 1.097 kg, 0.779, 0.784 y 0.809 kg; 12.38, 12.32 y 12.87 g, valores que superan a nuestros resultados; siendo, también, superados por el experimento de Idrogo (2014), quien halló pesos finales (1000.8, 1003.3 y 1011.8), incrementos totales de peso vivo (721.4, 721.7 y 730.6) y ganancias diarias de peso vivo (11.45, 11.46 y 11.60). También Toro (2014), con harina de plátano (*Musa sp*) en 0, 15 y 30% halló mayor ganancia total, diaria y peso vivo final (726.91, 10.38 y 999.64; 759.64, 10.85 y 1022.55; 720.73, 10.30 y 967.09).

4.3. EFICIENCIA BIO-ECONÓMICA.

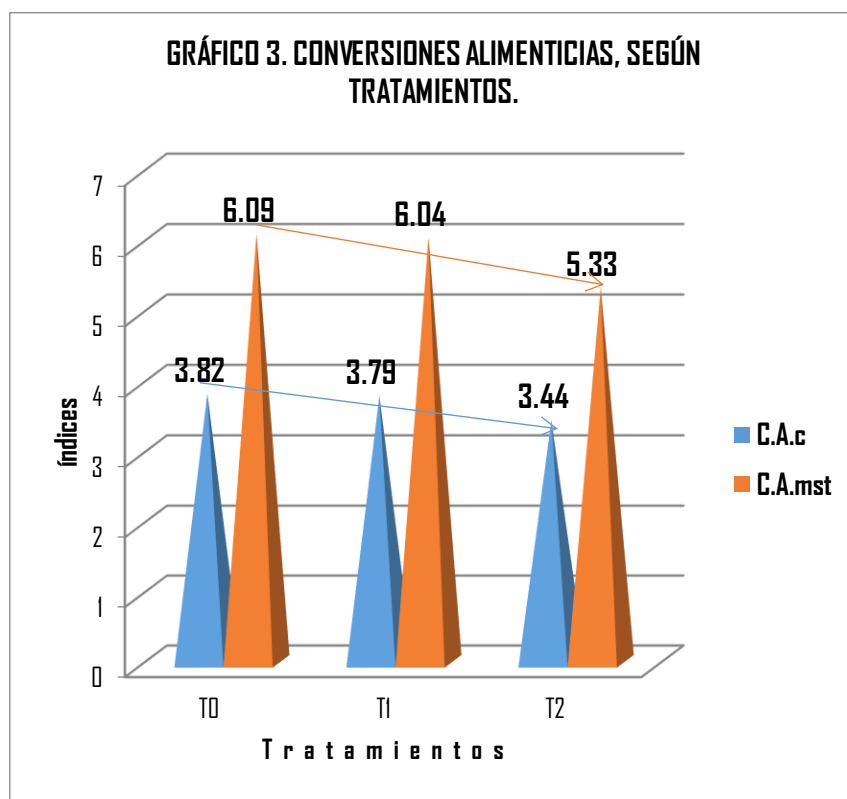
Las relaciones entre el consumo y el gasto en alimentación con la respuesta biológica del cuy se exponen en el siguiente Cuadro.

V. CUADRO 5. CONVERSIÓN ALIMENTICIA Y MÉRITO ECONÓMICO, SEGÚN TRATAMIENTOS

OBSERVACIONES	TRATAMIENTOS		
	T ₀	T ₁	T ₂
CONSUMO:Kg/cuy/periodo			
Concentrado	2.361	2.363	2.390
Forraje	8.190	8.190	8.190
M.S. Total estimada	4.172	4.174	4.199
GANANCIA DE PESO, kg	0.617	0.623	0.732
COSTO DEL CONCENTRADO, S/kg	1.36	1.50	1.49
GASTO EN ALIMENTACIÓN: S/.			
Concentrado	3.211	3.545	3.561
Concentrado + forraje	4.080	4.364	4.380
CONVERSIÓN ALIMENTICIA:			
Del Concentrado	3.83	3.79	3.27
Eficiencia, respecto a T ₀ , %	----	+ 1.04	+ 14.62
De la MS Total	6.76	6.70	5.74
Eficiencia, respecto a T ₀ , %	----	+ 0.89	+ 15.09
MERITO ECONOMICO:			
Del concentrado	5.20	5.69	4.86
Eficiencia, respecto a T ₀ , %	----	- 9.42	+ 6.54
De la alimentación	6.61	7.00	5.98
Eficiencia, respecto a T ₀ , %	----	- 5.90	+ 9.53

Considerando 25% y 90% de MS del forraje y concentrado, respectivamente. S/. 0.10/kg de forraje

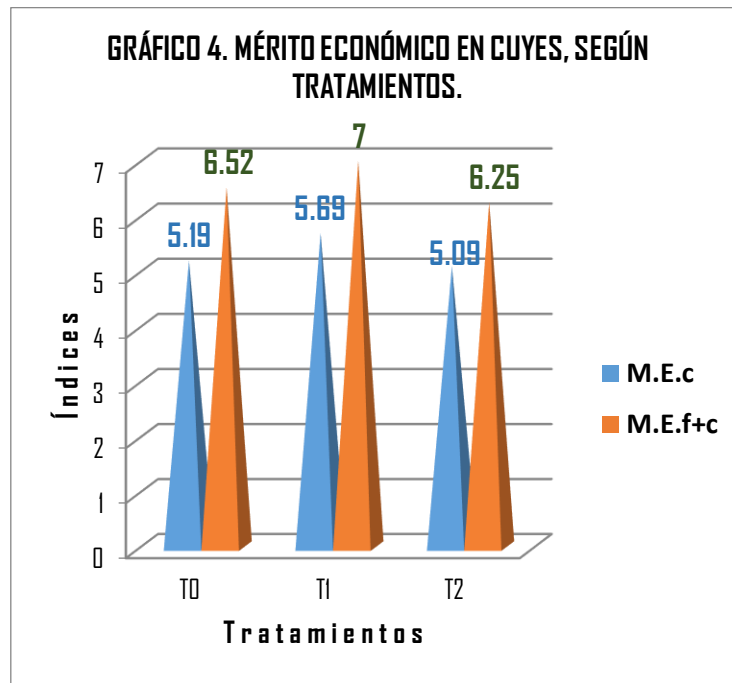
Las conversiones alimenticias se evaluaron para el concentrado y la materia seca total consumida (forraje + concentrado), habiéndose notado índices de 3.83, 3.79 y 3.27 en T₀, T₁ y T₂, respectivamente; deduciéndose que hay una mejora incipiente de T₁ con respecto a T₀ (0.89%), pero sí hubo una mejora visible de T₂ en comparación al T₀ (15.09%). De la materia seca total se determinaron los siguientes índices: 6.61, 7.00 y 5.98 en T₀, T₁ y T₂, concluyéndose que se lograron mejoras de - 5.90% y + 9.53% de estos dos últimos tratamientos sobre el testigo. Gráfico 3.



El mérito económico, del concentrado, muestra ciertas variantes que lo hallado en la conversión alimenticia. Los valores de 5.19 en T₀, se desmejoran brevemente, 5.69, en T₁, pero se recupera incipientemente, 5.09, en T₂, representando comportamientos de - 9.93 y + 1.93% en T₁ y T₂. De manera reiterativa se encontró en el mérito económico de la alimentación global (concentrado + forraje). Los índices fueron de 6.52, 7.00 y 6.25, en T₀, T₁ y T₂, que constituyeron

desmejoras y mejoras de -7.36 y + 4.14% de los últimos tratamientos en comparación al testigo.

Gráfico 4.



Las comparaciones con estudios como el de Vargas (2008), cuando evaluó 0, 10 y 20% de harina de banano halló peores conversiones alimenticias para la materia seca total (6.08, 6.84 y 6.73); también Sánchez (2007), con harina de lenteja cruda, refiere peores índices de conversión alimenticia (5.61, 6.19 y 5.86) para el concentrado. En tanto que Maluquis (2014), con raciones sin harina de papa o niveles de 15 y 30%, muestra mejores índices de conversión alimenticia (2.71, 2.73 y 2.66). También nuestros estudios fueron menos eficientes que las citadas por Idrogo (2014), con de harina de bituca (2.82, 2.79 y 2.73. Nuestros índices son peores a los citados por Toro (2014), que al evaluar concentrados con harina de plátano (*Musa sp*) en 0, 15 y 30% halló conversiones alimenticias y méritos económicos, del concentrado de 2.86 con 3.36; 2.94 con 3.14; 2.73 con 2.70, mientras que la conversión alimenticia para la materia seca total y el mérito

económico incluyendo el forraje fueron de 5.39 con 4.53 en T_0 , 5.34 con 4.22 en T_1 , 5.30 con 3.84 en T_2 .

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la información y análisis realizados, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. No existe un efecto directo de la incorporación de maíz chochoca sobre el consumo de concentrado; aun cuando al sustituir totalmente el maíz amarillo molido por chochoca se nota un leve incremento en el consumo.
2. Existen diferencias significativas en el incremento total de peso vivo; siendo superior el T₂ frente a T₁ y T₀.
3. Hay una mejora creciente de la conversión alimenticia del concentrado y de la materia seca total (concentrado + forraje) a medida que se incrementa el nivel de chochoca en el concentrado.
4. El mérito económico del concentrado solo mejoró cuando se sustituyó completamente el maíz amarillo molido por chochoca. Similar comportamiento se encuentra cuando se evalúa el mérito económico del alimento completo (concentrado + forraje).

RECOMENDACIONES:

1. Incorporar chochoca de maíz en la ración del cuy en sustitución total del maíz amarillo molido por mejorar la conversión alimenticia y el mérito económico.
2. Evaluar la chochoca en raciones de otras especies monogástricas de interés zootécnico.
3. Evaluar las características químicas y físicas que ocurren por la cocción de los alimentos y sus efectos en la digestibilidad y valor nutritivo en la alimentación animal.

VII. RESUMEN

Con 36 cuyes mejorados, destetados, machos, con un peso inicial aproximado de 315 gramos, aproximadamente, se llevó a cabo el estudio para evaluar concentrados con chochoca de maíz en los siguientes tratamientos: T₀ (0% de chochoca), T₁ (25:25% de harina de chochoca y maíz molido) y T₂ (50:0.00% de harina de chochoca y maíz amarillo molido) y evaluados durante 10 semanas. El consumo de concentrado fue de 2.359, 2.363 y 3.519 kg/cuy/periodo, que equivalen a consumos diarios de 33.71, 33.76 y 35.98 g/cuy en T₀, T₁ y T₂, respectivamente. La ganancia total, diaria y el peso vivo final, para dichos tratamientos, fueron de 616.83, 8.81 y 938.67; 623.08, 8.90 y 960.08; 731.83, 10.31 y 1027.67 g, respectivamente, con diferencias estadísticas para incremento total ($p < 0.01$) y sin diferencias estadísticas en peso vivo final. Para los citados tratamientos, la conversión alimenticia y el mérito económico, del concentrado, fueron de 3.82 con 5.89; 3.79 con 5.69; 3.44 con 5.09; mientras que la conversión alimenticia para la materia seca total y el mérito económico incluyendo el forraje fueron de 6.09 con 6.52 en T₀, 6.04 con 7.00 en T₁, 5.33 con 6.25 en T₂.

VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALFARO, S. M. MONASTERIOS and A. PÉREZ. El Maíz Amarillo para Molienda Húmeda. *Revista Digital del Centro Nacional de Investigación Agropecuarias de Venezuela*. Septiembre de 2004.
- ANONIMO. s.f. Nutrición y cuidado de los caballos. 6 pp.
- APARICIO, M. A., WALISZEWSKI, K., MONROY-RIVERA, J. A., 2003. Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), camote (*Ipomeae batata (L) Lam*) y plátano valery (*Musa cavendish*). Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- BALAGOPALAN, C., PADMAJA, G., NANDA, S. K. Y MOORTHY S. N. 1988. Cassava in food, feed, and industry. CRC. Press, Inc. Boca Ratón, Fla, EUA. pp: 144 – 190.
- BEJARANO, E., M. BRAVO., M. HUAMÁN., C. HUAPAYA., A. ROCA N. y E. ROJAS. 2002. Tabla de Composición de Alimentos Industrializados, Ministerio de Salud, Lima, Perú. 42 pp.
- Be MILLER, J., WHISTLER, R. 2009. *Starch: Chemistry and Technology*. . s.l. : Food Science and Technology, International Series. 3rd Edition.
- BERRY, C. 1986. Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *J.Cereal Sci.* 4: 301-314.
- BILIADERIS, C.G., PAGE, C.M. 1986. Thermal characterization of rice starch: a polymeric approach to phase transition of granular starch. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. Vol. 34.

- BNF, British Nutrition Foundation. 1990. Complex carbohydrates in foods: the report of The British Nutrition Foundation's Task Force. London: Chapman & Hall.
- CALDERÓN, C. 1987. Cuatro dietas artificiales para la crianza masiva de *Diatraea saccharalis* F. Rev. Per. Ent. (29): 51 – 54 pp.
- CALLEJO, M. J. 2002. Tecnología de alimentos. "Industrias de cereales y derivados". I° edición. Ediciones MUNDI – PRENSA. Madrid – España.
- CÁMARA ARGENTINA DE FABRICANTES DE ALMIDÓN, GLUCOSA, DERIVADOS Y AFINES. 1997. *Informe de Actividades, Situación Actual y Perspectivas*.
- CAMIRE, K. 1990. Chemical and Nutricional Changes in Foods During Extrusion. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1990, Vol. Vol. 29.
- CHIOTELLI, E. and L. MESTE, M. 2002. Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behaviour of starch. *Cereal Chem*, 79: 286-293.
- CIEZA, C. 2009. Harina de habas (*vicia faba*, l) en la ración de cuyes durante la fase de crecimiento – engorde, tesis Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 62 pp.
- COLONNA, P. and MERCIER, C. 1985. Gelatinization and melting of maize and pea starches with normal and high-amylose genotypes. *Phytochemistry*, 24: 1667-1674.
- CORDERO, A. 2008. Estadística Experimental. Grapex Perú. Primera Edición. 324 pp.
- COULTATE, T. P. 1984. The chemistry of its components. 1ª Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp: 26 – 31.

De COCK, P. 1996. Functional properties of starch/ Methods and applications. *Agro-Food-Industry Hi-Tech*. 7, (4), 18-22.

ENGLYST HN, KINGMAN SM, CUMMINGS JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46: S33-50.

ESPINAL, C. F. COVALEDA, H. M. RUIZ, P. y URRUTIA, B. A.. 2005a. La cadena de la papa en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 100. En: <http://www.agrocadenas.gov.co>

FAO. s.f. El Maíz en la Alimentación del Mundo. Publicaciones FAO, Roma. 12 pp.

FAO 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición No. 25. Roma, Italia. [<http://www.fao.org/docrep/T03955/T0395500.htm#>].

FAO 1993. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1993. El maíz en la nutrición humana. Código FAO: 86 AGRIS S01.

FONCODES 2006. "Censo de Población y Vivienda 2005" – INEI, Censo de Talla Escolar 1999 – MINEDU.

FOX, B. A., CAMERON, A. G. 1997. Ciencia de los alimentos, nutrición y salud. Primera reimpresión. Editorial Limusa, México, D. F. pp: 122 – 128.

FENGLER, A. I. and MARQUARDT, R. R. 1988. Water soluble pentosans from rye. II. Effects of rate of dialysis on the retention of nutrients by the chick. *Cereal Chemistry*, 65: 298- 302.

FOX, S. I. 1996. Human Physiology, p. 588. Wm. C. Brown. Publishers, Chicago, United States of America.

FREDERICK, H.M.; THEURER, B. y HALE, W.H. 1973. J. Dairy Sci. 56, 595.

FUNDACIÓN PARA LA DIABETES. S.f. Cambios nutricionales en alimentos al cocinarlos. Madrid, España. 2 pp.

GALLANT, D. J. BOUCHET, B. BULEON and PEREZ, S. 1992. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. *Eur J Clin Nutr.* 46(Suppl 2):S3–16.

GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO. 2005. Diccionario quechua – Español – Quechua. Academia Mayor de la Lengua Quechua, *qheswa simi hamut'ana kurak suntur* Segunda Edición, Cusco, Perú, 100 pp.

GÓMEZ, M. A. 2003. ¿Qué es el Almidón? *Rincón de la Ciencia*.

GONZALES, C. 2008. Harina de bituca (*Colocasia esculenta*) en la dieta de cuyes para la fase de crecimiento – engorde. 2008. Tesis Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 46 pp.

HARBERS, L.H. 1975. J. Anim. Sci. 41, 1496.

HEREDIA, L. E. 2009. Harina de plátano tratada térmicamente en la dieta de cuyes Perú y su efecto sobre el rendimiento. Tesis Ingeniero Zootecnista, Facultad de Ingeniería Zootecnia, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 50 pp.

HINMAN, D. D. y JOHNSON, R. R. (1974) J. Anim. Sci. 39, 417.

IDROGO, A. 2014. Sustitución del maíz molido por harina de bituca (*Colocasia esculenta*) en la ración de cuyes durante su crecimiento y engorde. Tesis Ingeniero Zootecnista Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 54 pp.

- JACOBS, D. 1988. Hydrothermal Modification of Granular Starch with Detention of the Granular Structure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1998, Vol. Vol. 46.
- JING-MING, L and SEN-LIN, Z. 1990. Scanning electron microscopy study on gelatinization of starch granules in excess water. *Starch/Starke*, 42: 362-366.
- KOHYAMA, K and NISHINA, K. 1991. Effect of soluble sugars on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. *J Agric Chem*, 39: 1406-1410.
- KOKINI, J. L., LAI, L-S. L. Y CHEDID, L. 1992. Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Technol*. 3: 124-138.
- LAGUNA, J., PIÑA, E. 1979. *Bioquímica*: Ed. Fournier. Prensa Médica Mexicana.
- LIGHT, J. M. 1990. Modified food starches : Why, What, Where, and How. *Cereal Foods World* 35: 1081- 1092.
- LUNN, J. B. 2007, Carbohydrates and dietary fibre. *Nutr. Bull.* 32, 21–64.
- MALUQUÍS, S. 2014. Harina de papa (*Solanum tuberosum*) en la dieta de cuyes mejorados durante el crecimiento-engorde, Tesis Ingeniero Zootecnista Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 46 pp.
- MARTÍNEZ-PUIG, D. 2006. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- MILES, M. J. MORRIS, V. J. ORFORD, P. D and RING, S. G. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr Res*, 135:271-281.

- MINISTERIO DE SALUD. 2009. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, Instituto Nacional de Salud, Lima, Perú. 63 pp.
- MOLINS, A. R. 1991. Phosphates in food. CRC PRESS, Inc. Boca Ratón FL, EUA. p:30-35, 65-77 y 235-240.
- MORELL, M. K. KONIK-ROSE, C. AHMED, R. LI, Z. and RAHMAN, S. 2004. Synthesis of resistant starches in plants. *Journal of AOAC International*. vol. 87, no. 3, 740-748.
- OLKKU, J., RHA, C.K. 1978. Gelatinization of starch and wheat flour starch. *Food Chemistry*. Vol. 5.
- PEREZ, H. and OLIVA-TELES, A. 2001. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 205: 287-299.
- RAMIREZ, L. 2012. Harina de achira (*Canna edulis*, ker – gawier), en la dieta de cuyes para, la fase de crecimiento-engorde. Tesis Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 44 pp.
- RODRIGUEZ, A. y L. SOTO. Características Fisicoquímicas y Comportamiento Reológico de Harinas Precocidas de Maíz Amiláceo (*Zea mays* L.) Blanco y Amarillo. *Pueblo Continente*, vol. 17 (1): 10 – 16 pp.
- RODRIGUEZ, M.E., YAÑEZ-LIMÓN, M., ALVARADO-GIL, J.J., VARGAS, H., SANCHEZ-SINENCIO, F., FIGUEROA, J.D.C., MARTINEZ-BUSTOS, F., MARTINEZ-MONTES, J.L., GONZALES-HERNANDEZ, J., SILVA, M.D., MIRANDA, M.L.C. 1996. Influence of the Structural Changes During Alkaline Cooking on the Thermal, Rheological and Dielectric Properties of Corn Tortillas. *Cereal Chemistry*. Vol. 73, 5. pag. 593.

- ROSALINA y BHATTACHARYA, M. 2002. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. *Carbohydr. Polym.* 48: 191-202.
- RUIZ P. S. L. 2007. "Diagnóstico de los sistemas de producción y recolección de ecotipos de maíz criollo (*zea mays amylacea*) en las provincias de San Martín, Lamas, Picota y el Dorado". Informe de prácticas pre profesionales en el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria del área Proyecto Nacional de Investigación en Maíz de la estación Experimental Agraria "El Provenir" – Tarapoto – Perú.
- SANSAVANI, S. and VERZONI, D. 1998. The functional properties of starches as a means to expanding their international market. *FAO Working document n°3, FAO-AGS as a part of policy-research Tasks in conjunction with the first world conference on research in horticulture (WCHR)*, Rome, Italy. 28p.
- SÁNTA CRUZ, L. 2012. Cultivos Andinos Publicación. 20 pp.
- SIMATOS, D. y KAREL M. 1988. Characterization of the conditions of water in foods, physico-chemical aspects. [book auth.] C. C. Seow. *Food Preservation by Water Activity Control*. Amsterdam: Elsevier, 1988.
- SLUYTER A, DOMINGUEZ G. 2006. Early maize (*Zea mays* L.) cultivation in Mexico: Dating sedimentary pollen records and its implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103:1147-1151.
- STEPHEN, A. M. HADDAD, A. C. and PHILLIPS, S. F. 1983. Passage of carbohydrate into the colon. Direct measurement in humans. *Gastroenterology*, 85: 626-632.

- TAPIA, M. y FRIES A. M. 2007. Guía de Campo de los Cultivos Andinos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú. Primera Edición. 222 pp.
- TERRONES, L. 2009. Harina de arveja (*Pisum sativum*) en raciones de cuyes en crecimiento-engorde. Tesis Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 38 pp.
- TESTER, R. F. y KARKALAS, J. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chem.* 73: 271-277.
- TESTER, R. F. KARKALAS, J, and QI, X. 2004. Starch structure and digestibility enzyme-substrate relationship. *World's Poultry Science Journal*, 60: 186-195.
- TESTER, D. 2000. Annealing of Starch: a Review. *International Journal of Biological Macromolecules*.
- TETLOW, I. J. BLISSETT, K. J. and EMES, M. J. 1994. Starch synthesis and carbohydrate oxidation in amyloplasts from developing wheat endosperm. *Planta* 194, 454–460.
- TOPPING, D. L and CLIFTON, P. M. 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of resistant starch and nonstarch polysacharides. *Physiol Rev*, 81: 1031-1064.
- TORO, C. 2014. Harina de banano (*Musa sp*) en sustitución del maíz molido en la ración de cuyes en crecimiento – engorde. Tesis Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 41 PP.

- VARGAS, O. 2008. Harina de banano (*musa sp.*) en la dieta de cuyes para la fase de crecimiento y engorde". Tesis Ingeniero Zootecnista, Facultad de Ingeniería Zootecnia, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 50 pp.
- VASANTHAN, T. and BHATTY, R. S. 1996. Physicochemical properties of small- and largegranule starches of waxy, regular and high amylose barleys. *Cereal Chem*, 73:199-207.
- VÁSQUEZ, J, V, 2008. Harina de arracacha (*arracacia xanthorriza bancroft*) en la dieta de cuyes en la fase de crecimiento - engorde. Tesis Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 49 pp.
- WU, H. C. and SARKO, A. 1978. The double helical molecular structure of crystalline amylose. *Carbohydr Res* 61:7-25.
- XIONG, Y.; BARTLE, S.J. y PRESTON, R.L. 1991. J. Anim.Sci. 69, 1707.
- ZOBEL, H.F. 1988. Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch*. Vol. 40.
- ZUDAIRE M., PIÑEIRO E. 2009 "Harina de maíz" Revista CONSUMER EROSKI Editado por Fundación EROSKI Viscaya – España.

IX. APÉNDICE

CUADRO 1A. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA PESOS INICIALES EN CUYES.

TRATAMIENTOS	S.C.	G.L.	Si²	Log Si²	(n-1)(Log Si²)
T₀	1005129	11	91375.36	4.9608	54.5691203
T₁	1407080	11	127916.36	5.1069	56.17618715
T₂	1257436	11	114312.36	5.0581	55.6392525
TOTAL	3669645	33			166.3843327

Variancia estimada acumulada:

$$S_{ia}^2 : 3669645/33 = 111201.36$$

$$\text{Log Si}^2 : \text{Log } 5.04611$$

$$\beta : 166.5216337$$

$$X^2 : 2.3026 (166.5216337 - 166.3843327)$$

$$X^2 : 0.32 : < X_t 5.99 (0.05, 2 \text{ g.l.})$$

∴

LAS VARIANCIAS DE LOS CUADRADOS MEDIOS DE PESOS INICIALES FUERON HOMOGÉNEOS”.

CUADRO 2A. ANALISIS DE VARIANZA PARA EL INCREMENTO TOTAL DE PESO VIVO EN CUYES.

FUENTES DE VARIABILIDAD	S.C.	G.L.	C.M	Fc	SIG
TRATAMIENTOS	100362.50	2	50181.3	5.18	* *
ERROR EXPERIMENTAL	319428.25	33	9679.6		
TOTAL	419790.75	35			

C.V. = 14.97%

CUADRO 3A. ANALISIS DE VARIANZA PARA PESO VIVO FINAL EN CUYES.

FUENTES DE VARIABILIDAD	S.C.	G.L.	C.M	Fc	SIG
TRATAMIENTOS	51788.72	2	25894.4	2.30	N S
ERROR EXPERIMENTAL	371764.25	33	11265.6		
TOTAL	423552.97	35			

C.V.: 10.88%